

## Artigos técnicos

Metodologia desenvolvida pelo IPT de monitoramento contínuo dos gases efluentes de alto-forno durante o processo de abaixamento de carga (*blow down*)

*Methodology developed by IPT for continuous monitoring of blast furnace effluent gases during the load lowering process (blow down)*

Renato Vergnhanini Filho<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Engenharia Térmica (LET), Área de Concentração Tecnológica em Energia (ACTEN), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

\*E-mail: vergnhan@ipt.br

### Palavras-chave:

abaixamento de carga de alto-forno; monitoramento de gases; *blow down*.

### Keywords:

*blast furnace load lowering; gas monitoring; blow down.*

## Resumo

O artigo apresenta a metodologia desenvolvida pelo LET de monitoramento contínuo dos gases efluentes de alto-forno durante o processo de abaixamento de carga (*blow down*), visando o controle do processo, de forma a garantir a integridade do equipamento e da equipe técnica envolvida.

## Abstract

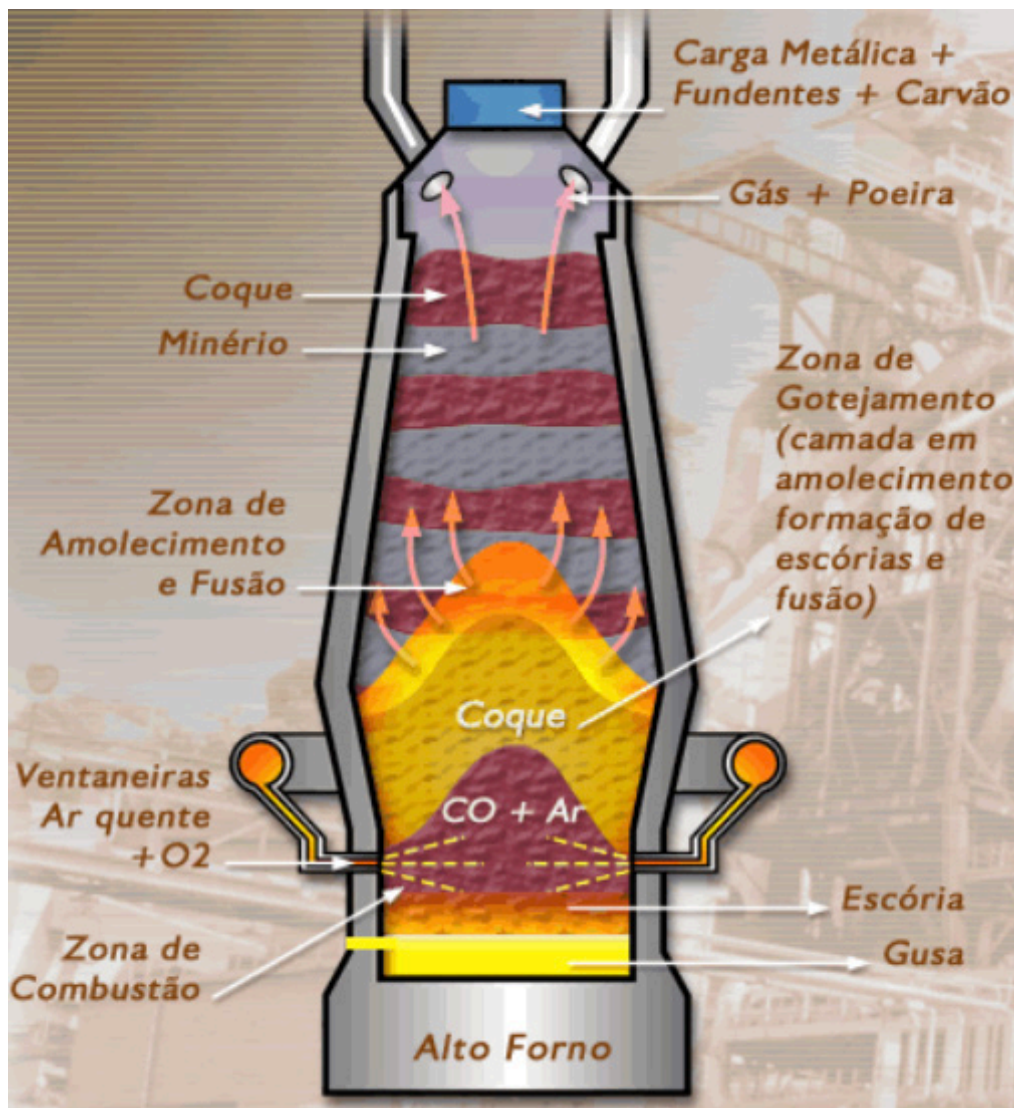
The article presents the methodology developed by LET for continuous monitoring of blast furnace effluent gases during the load lowering process (*blow down*), aiming at the control of the process, in order to guarantee the integrity of the equipment and the technical team involved.

## 1 Introdução

Alto-forno é como se chama o reator químico, na siderurgia, de tamanho variável, externamente revestido por metal e internamente com material refratário, onde é reduzido o minério de ferro, a fim de transformá-lo em ferro-gusa. Atualmente, aproximadamente 60 % do aço produzido no mundo tem como origem o ferro-gusa.

Matérias primas ferrosas, fundentes e coque são alimentados, alternadamente, pelo topo do alto-forno por uma correia transportadora. Em uma região chamada zona de combustão, as ventaneiras sopram gases a elevadas temperaturas, contendo oxigênio e outros combustíveis auxiliares (óleo mineral, carvão pulverizado, gás natural etc.), que sobem e reagem com a carga metálica contida no interior do forno, causando sua redução e fusão (Figura 1).

Figura 1 - Alto-forno



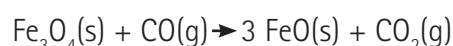
Fonte: <https://www.infomet.com.br/site/siderurgia-3a-processo.php>

A principal reação química que produz o ferro fundido é:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$

Essa reação pode ser dividida em várias etapas. A primeira envolve o ar preaquecido soprado no forno com o carbono do coque para produzir monóxido de carbono:  $2 \text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{CO}(\text{g})$

O monóxido de carbono é um gás redutor do minério de ferro e reage com o óxido de ferro para produzir ferro fundido e dióxido de carbono:  $3 \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2 \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

A temperaturas em torno de 850 °C, o ferro é reduzido ainda mais:



À medida que o óxido de ferro desce para a região de temperaturas mais altas, de até 1200 °C, ele é finalmente reduzido para o ferro metálico:  $\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

Os produtos das reações que ocorrem no alto-forno são o ferro-gusa e a escória, escoados no estado líquido para a base do reator e separados por diferença de densidade. O ferro-gusa é conduzido por canais refratários para os carros torpedos para ser transportado para as aciarias. A escória é levada para os granuladores de escória.

Ocasionalmente, faz-se necessário a realização de paradas de funcionamento do alto-forno por vários dias, seja por condições de limitação de mercado ou para efetuar atividades de reparo e manutenção.

Nessas paradas de longa duração, tem-se procedimento específico de preparação, com a execução de atividades que visam garantir a integridade do equipamento e da equipe técnica envolvida. Dentre os diferentes métodos para a realização do desligamento, o denominado *blow down* tem sido o mais aplicado desde a década de 1970.

O *blow down* consiste no abaixamento de carga e redução do volume de sopro até que o nível de carga alcance a altura das ventaneiras, propiciando um forno livre de cascão e o mais vazio possível.

Na operação normal, o gás gerado no alto-forno (GAF - Gás de Alto-Forno ou *BFG - Blast Furnace Gas*) possui composição média mostrada na Tabela 1, porém no *blow down*, com o forno operando numa condição atípica, há alterações de composição, com o risco da formação de uma atmosfera explosiva. Portanto, é fundamental o acompanhamento dos gases efluentes do forno durante o processo (SATHLER et. al., 2015; PONTES et. al., 2018).

Tabela 1 - Composição típica do gás de alto-forno.

Composição do gás de alto-forno (% em volume e em base seca):				
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
23	3	24	50	~0

Fonte: valores médios de medições realizadas pelo IPT nas siderúrgicas Gerdau e Ternium, utilizando conjunto de analisadores contínuos de gases e sistemas de sucção e condicionamento de amostras.

## 2 Metodologia desenvolvida pelo LET de monitoramento contínuo dos gases durante o *blow down* de alto-forno

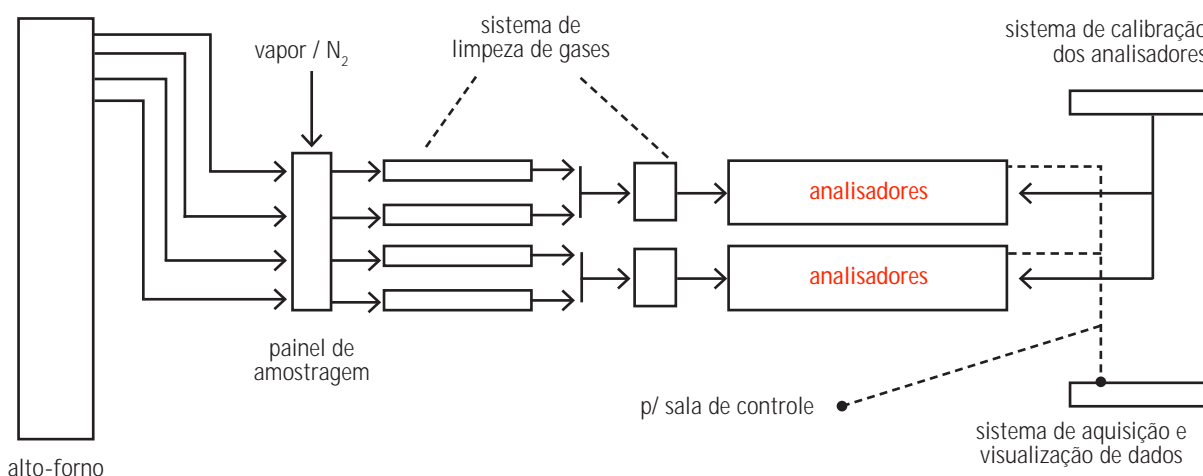
A metodologia desenvolvida pelo LET consiste na construção de quatro linhas de amostragem (uma por *up take*), independentes, ligando o topo do alto-forno a um painel de amostragem, de modo que no eventual entupimento de uma delas, a segunda será alinhada. Caso a segunda obstrua antes de ter sido realizada a desobstrução da primeira, ter-se-á, ainda, a terceira linha e, da mesma forma, a quarta linha. No painel, são conectados dutos de vapor de água e nitrogênio ou ar comprimido para a limpeza das linhas de amostragem.

Devido, também, a possibilidade de obstruções, são construídas quatro linhas ligando o painel a quatro sistemas de amostragem de gases, independentes, cada uma contendo filtros, vacuômetros, rotômetros, válvulas, serpentinas, condensadores, ciclones etc. A dois desses sistemas são conectados uma bomba de vácuo e um conjunto de analisadores contínuos de gases ficando, portanto, dois sistemas de reserva.

São monitorados os teores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e hidrogênio (H<sub>2</sub>) dos gases. Os sinais de saída dos analisadores, no formato de 4 a 20 mA, alimentam um sistema de aquisição e visualização montado junto aos mesmos, e são replicados para o supervisor da sala de controle do alto-forno através de uma derivação na saída dos instrumentos, possibilitando o acompanhamento e registro *online* dos valores obtidos.

A Figura 2 ilustra a montagem para a realização do monitoramento dos gases. A Tabela 2 mostra os analisadores de gases utilizados.

Figura 2 - Montagem para a realização do monitoramento dos gases.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Analisadores contínuos de gases.

Analisadores contínuos de gases (dois por constituinte)		
Constituinte	Princípio de operação	Faixa de medição (% em volume e em base seca)
O <sub>2</sub>	paramagnetismo	0 – 25
CO	absorção da radiação infravermelha	0 – 50
CO <sub>2</sub>		0 – 100
H <sub>2</sub>	condutividade térmica	0 – 50

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3 Trabalhos realizados pelo IPT de monitoramento contínuo dos gases durante o *blow down* de alto-forno

Nos últimos anos, o IPT realizou o monitoramento contínuo dos gases durante o *blow down* de alto-fornos instalados em várias siderúrgicas no Brasil (Acesita - atual Aperam, ArcelorMittal - unidades de João Monlevade e Juiz de Fora, CSN e Gerdau) e na Argentina (Siderar). As Figuras 3 e 4 mostram fotos referentes a esses trabalhos.

As Figuras 5 a 8 mostram, no *blow down*, a variação da composição dos gases efluentes de um dos alto-fornos monitorados pelo IPT.

Figura 3 - Painéis de amostragem.



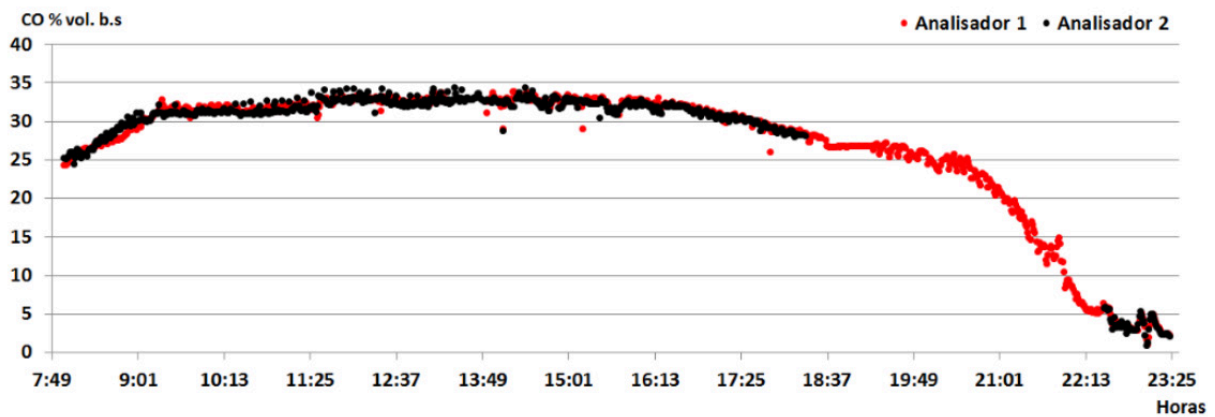
Fonte: acervo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Figura 4 - Van equipada com a instrumentação do IPT e posicionada junto ao alto-forno.



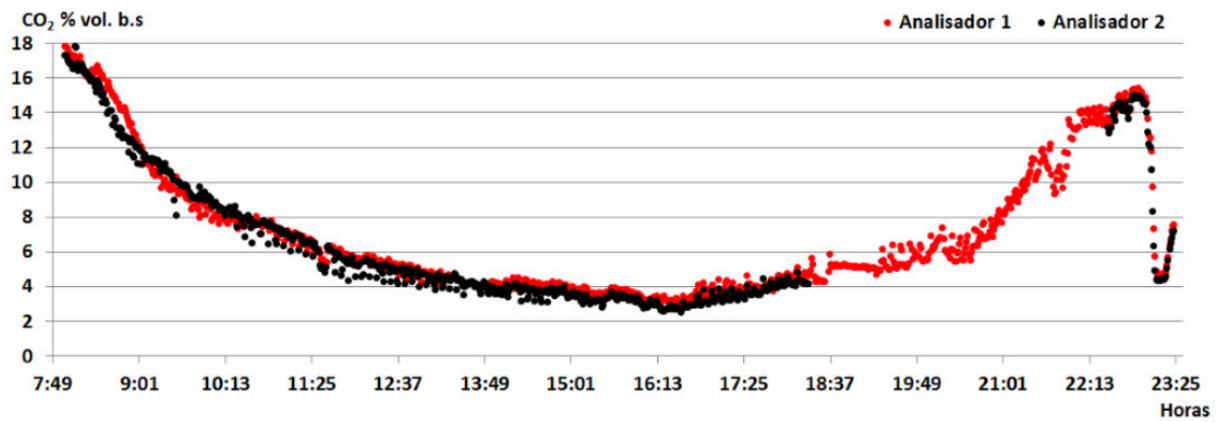
Fonte: acervo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Figura 5 - Teor de CO dos gases durante o *blow down*.



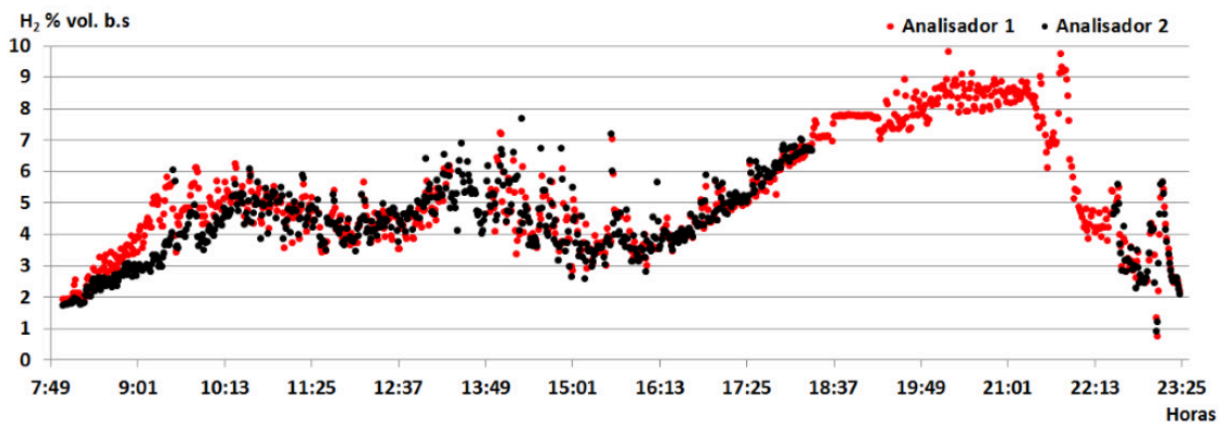
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 6 - Teor de CO<sub>2</sub> dos gases durante o *blow down*.



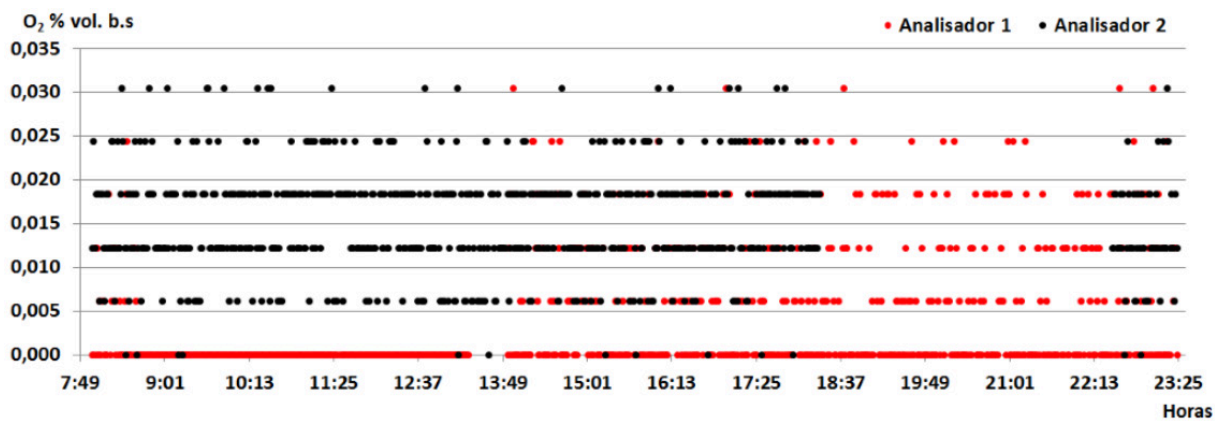
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 7 - Teor de H<sub>2</sub> dos gases durante o *blow down*.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 8 - Teor de O<sub>2</sub> dos gases durante o *blow down*.



Fonte: elaborado pelo autor

## 4 Conclusões

No *blow down* do alto-forno, quando ele opera numa condição atípica, havendo a possibilidade da formação de uma atmosfera explosiva, a metodologia de monitoramento contínuo dos gases desenvolvida pelo LET, onde tudo é exaustivamente verificado e são utilizados instrumentos e componentes em redundância, permite que o procedimento seja realizado com segurança pela siderúrgica.

## 6 Referências

SATHLER, F.; NASCIMENTO JUNIOR, R. C.; COSTA, C. C.; RIBEIRO, E. C. Descrição dos fundamentos teóricos e práticos do *blow down* aplicados ao alto-forno 03 da ArcelorMittal Aços Planos América do Sul. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 45; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO, 16; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGLOMERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 3, 17-21.08.2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PONTES, F. S.; FARIA, G. A.; PESSOA, R. R.; AGUIAR, P. G. O.; LYRIO, A. M. C.; SIMÃO, J. R.; GONÇALVES, P. C.; MIRANDA, S. M.; REIS, P. G.; MIRANDA, W. P. *Blow down* e drenagem da salamandra do alto-forno nº 2. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 48; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGLOMERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 6, 04-04.10.2018, São Paulo, SP, Brasil.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n15-2

